昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, March 2011, 54(3): 306 – 311　ISSN 0454-6296

桔小实蝇抗性个体流动对抗性个体频率的影响

金　涛[1,2]，曾　玲[1]，陆永跃[1]，林玉英[1]，梁广文[1,*]
(1. 华南农业大学昆虫生态研究室，广州 510642；2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，海南儋州 571737)

摘要：为了解害虫个体的迁移对害虫群体抗药性发展的影响，本研究利用实验室内建立的桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 对敌百虫和高效氯氰菊酯两种抗性品系以及相对敏感品系，设计 5%~25% 个体的迁移比例，研究桔小实蝇抗、感个体流动对原始种群抗性个体频率的影响。结果表明：桔小实蝇抗性个体迁入敏感种群，使得敏感种群抗性个体频率增加，在抗性个体迁移率为 25% 时，影响敏感种群敌百虫和高效氯氰菊酯抗性个体频率的变化值分别为 20.04% 和 41.75%；同样随着敏感个体迁入比例的增加，抗性种群中抗性个体频率降低程度越大，在敏感个体迁移率为 25% 时，抗性种群敌百虫和高效氯氰菊酯抗性个体频率的变化值分别为 56.20% 和 25.88%。利用抗性个体频率变化值与相应迁移率的比值来表示迁移的相对效率，在抗性个体迁移率为 5% 时，影响敏感种群抗性个体频率变化的相对效率最高；在敏感个体迁移率分别为 5% 和 10% 时，影响敌百虫抗性种群和高效氯氰菊酯抗性种群抗性个体频率变化的相对效率最高。以抗、感个体迁移引起的抗性个体频率变化值进行趋势拟合，发现抗敌百虫与抗高效氯氰菊酯桔小实蝇品系不同迁移比例下的抗性个体频率变化趋势分别符合密度模型(density model)和房屋模型(housing model)，相关系数分别是0.9696和0.9647。研究结果表明通过合理地设计抗、感迁移比例能有效地延缓桔小实蝇抗性水平的上升，达到抗性治理的目的。

关键词：桔小实蝇；抗药性；抗性个体流动；抗性个体频率；敌百虫；高效氯氰菊酯
中图分类号：Q965.9　**文献标识码**：A　**文章编号**：0454-6296(2011)03-0306-06

Changes of the frequency of resistant individuals in populations of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae), with resistant individual flow

JIN Tao[1,2], ZENG Ling[1], LU Yong-Yue[1], LIN Yu-Ying[1], LIANG Guang-Wen[1,*] (1. Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: To investigate the effects of immigration of individuals on evolution of insecticide resistance, frequencies of resistant individuals of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, to trichlorphon and β-cypermethrin were measured with different immigration rates of resistant or sensitive individuals in this study. The results showed that when resistant adults were immigrated into the susceptible population, the frequency of resistant individuals increased as the immigration rates increased. The changes in the frequency of resistant individuals to trichlorphon and β-cypermethrin were 20.04% and 41.75%, respectively, when the immigration rate of resistant individuals was 25%. Similarly, the frequency of resistant individuals decreased when increasing susceptible adults were immigrated into the resistant population. When the immigration rate of susceptible adults was 25%, the changes in the frequency of resistant individuals to trichlorphon and β-cypermethrin were 56.20% and 25.88%, respectively. The relative efficacy of influence on the changes of the frequency of resistant individuals by resistant adult immigration was the highest among all the tested populations when the immigration ratio was 5%. However, when susceptible individuals were immigrated into the resistant population, the relative efficacy of influence on the changes of the frequency of resistant individuals by trichlorphon-resistant adults and β-cypermethrin-resistant adults was the highest when the immigration ratio of sensitive individuals were 5% and 10%, respectively. The relative efficacy of influence on the changes of the frequency of resistant individuals by immigration was the highest among all the tested populations when the immigration ratio was 5%. The tendency fitting for

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(200903047)；国家科技支撑计划项目(2008BADA5B01)；环植所基本科研业务费(2011hzs1J005)
作者简介：金涛，男，1979 年生，安徽省庐江县人，博士，研究方向为昆虫生理与分子生物学，E-mail: billowjin@gmail.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: gwliang@scau.edu.cn
收稿日期 Received: 2010-04-29；接受日期 Accepted: 2011-01-26

changes of the frequency of resistant individuals and different immigration ratios indicated that resistance to trichlorphon and β-cypermethrin followed the density model and housing model, and the correlation coefficients were 0.9696 and 0.9647, respectively. The results suggest that the reasonably designing immigration rate would effectively postpone resistance development in *B. dorsalis* populations and meet the requirements for resistance management.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; insecticide resistance; resistant individual flow; frequency of resistant individuals; trichlorphon; β-cypermethrin

害虫对药剂产生抗性的发展，实质上是杀虫剂对种群中具有抗性基因的个体作定向选择，选择压越大，抗性发展越快，是一个种群中抗性基因不断浓缩的过程(唐振华和吴士雄，2000)。随着种群内抗性基因的比例增加，形成群体的抗性特性，并在同一种具备抗性的种群中形成抗性特征遗传，但不同抗性水平害虫种群之间的相互迁移促进了同一类害虫的多种抗性基因频繁流动，使得害虫种群的抗性水平发生变化更加复杂，难以估测抗性水平的发展趋势(Crow，1957；Taylor *et al*.，1983)。如高抗棉花种植区培育了大量抗性较强的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 虫源，远距离迁飞至异地，导致棉铃虫种群抗性显著增强，被认为是 1992 年西北地区棉铃虫大发生的原因之一(程桂林等，1992)；2005 年，我国周边地区临时性迁入大量抗性褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 种群，致使我国江南水稻产区的褐飞虱田间种群的抗药性大幅增强，致使当年化学防治法难以及时控制该虫爆发成灾(高希武等，2006)。

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel)属双翅目(Diptem)实蝇科(Tephritidae)寡毛实蝇属 *Bactrocera* Macquart 昆虫，为害番石榴、芒果等 46 个科 250 多种果树、蔬菜和花卉，是一种毁灭性害虫，对水果和蔬菜的为害主要表现为幼虫潜居果瓤中取食，造成果实腐烂、脱落，在我国华南、华中、西南和华东等地区造成巨大的经济损失(肖春等，2004；Ye and Liu，2005；刘建宏和叶辉，2005)。长期持续、不合理的化学防治致使其产生严重的抗药性(Hsu and Feng，2000；潘志萍等，2005；章玉苹，2007；章玉苹等，2008b)。由于桔小实蝇是一种具有极强迁飞能力的昆虫，对化学药剂喷洒后的田间环境具有迅速迁移躲避的能力，这种行为特征促使其抗、感个体在种群之间更加频繁地交流。抗药性杂交法遗传分析证实，桔小实蝇对敌百虫和高效氯氰菊酯的抗性均由不完全显性基因控制，杂交后的性比无变化，表明了对两种杀虫剂的抗性属常染色体控制(章玉苹，2007；章玉苹等，2008a)。因而桔小实蝇抗性个体对未施药地区的迁入，或敏感个体对施药地区的迁入，都极有可能促使或延缓抗性基因频率的上升。同时桔小实蝇对敌百虫具有较强的抗性稳定性及快速的再增长趋势，显示桔小实蝇高抗群体更容易与抵抗群体同化(章玉苹等，2008c)，表明了抗性和敏感个体之间的相互交流对桔小实蝇种群的抗性发展具有明显影响。

鉴于此，本研究以实验室已建立的敌百虫抗性品系、高效氯氰菊酯抗性品系和相对敏感的桔小实蝇品系，在室内稳定条件下设置不同比例的抗性个体和敏感个体的迁移种群，分析其子代的抗性个体频率的变化情况，旨在了解不同药剂抗性类型桔小实蝇抗性个体和敏感个体的相互迁移下群体抗性发展情况，为深入了解桔小实蝇种群抗性水平变化和准确预测桔小实蝇的抗性发展提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源和杀虫剂

桔小实蝇原始种群于 2004 年采自广州市郊杨桃公园，室内桔小实蝇饲养和抗性汰选方法参照袁盛勇等(2003)和潘志萍等(2006)并改进，抗性品系的建立通过多代单一杀虫剂汰选获得(潘志萍等，2008)。敏感个体(SS)：在室内不接触任何杀虫剂隔离饲养 35 代，使用药膜法测定对敌百虫和高效氯氰菊酯的 LC_{50} 分别为 0.12 mg/m^2 和 0.19 mg/m^2，斜率分别为 5.93 和 8.01，形成较纯合的相对敏感品系，挑选行为活泼的试虫作为敏感个体虫源。抗性个体(RR)：采用原始种群分离成两个饲养种群，分别使用 LC_{50} 两种药剂进行汰选，以后每 3 代进行一次毒力测定，使用该测定的 LC_{50} 进行逐步筛选 30 代后，形成较纯的敌百虫抗性品系和高效氯氰菊酯抗性品系，试验选用的敌百虫抗性种群的 LC_{50} 为 7.1 mg/m^2，高效氯氰菊酯抗性种群的 LC_{50} 为 61.98 mg/m^2，与相对敏感种群的比较抗性指数分别为 58.3 和 329.3。取两种抗性品系羽化后 3

-5 d 的成虫，以其 LC_{50}浓度的药膜法汰选试虫 2 h 后，投入到另一个养虫笼中，24 h 后挑选行为活泼、飞行能力强的试虫作为抗性个体虫源。

杀虫剂：90% 敌百虫原粉，江苏南通江山农药化工股份有限公司生产；95% 高效氯氰菊酯原粉，广东立威化工有限公司生产。使用前分别用丙酮稀释敌百虫和高效氯氰菊酯至敏感种群的 LC_{95}浓度（0.23 mg/m^2和 0.3 mg/m^2），作为诊断剂量。

1.2　方法

从迁入和迁出两个方面设计抗性基因的流动：(1)以敏感品系作为基础种群，抗性品系为迁入种群，迁入个体比例分别为 0%，5%，10%，15%，20% 和 25%，每个处理种群中投入 40 头处理试虫。以 5% 的迁移比例为例：在同一养虫笼中放入 1 对 RR 成虫和 19 对 SS 成虫。其他迁移比例以此类推。(2)以抗性种群为基础种群，敏感种群为迁入种群，迁移比例和试验方法同上。每个处理重复 3 次。

从各处理的 F_1 代挑选 200 头左右的成虫，以敏感品系的 LC_{95}为诊断剂量，用药膜法测定各处理 F_1 代试虫的抗性个体频率。即向含有 LC_{95}浓度的锥形瓶引入 10 ~ 15 头的 F_1 代试虫，以丙酮处理作为对照，24 h 后观察试虫的存活情况，以每个处理的平均存活率作为抗性个体频率。药膜法具体操作方法参照潘志萍等(2005)和章玉苹等(2007)。

1.3　数据统计与分析

数据统计将以抗性变化值与迁入比例的比值来评价迁移对抗性个体频率变化影响的相对效率。比较不同抗性个体迁入条件下，引起种群的抗性个体频率的变化。应用 DPS 数据处理系统软件，以抗、感个体迁移比例为自变量，抗性个体频率为应变量，对敌百虫和高效氯氰菊酯的抗性个体频率数值变化进行曲线拟合。

2　结果与分析

2.1　桔小实蝇抗性个体迁入敏感种群的抗性个体频率变化

桔小实蝇抗性个体迁入敏感种群后，子代桔小实蝇种群的抗性个体频率出现逐渐增加的趋势。显著性差异分析显示，敌百虫抗性个体 5% ~ 25% 的 5 种迁移率均使敏感种群的抗性个体频率显著升高，但 5 种迁移率之间没有显著差异；而高效氯氰菊酯抗性个体只有在 10% ~ 25% 迁移率下使敏感种群的抗性个体频率显著升高，4 种迁移率之间无显著差异。此外，抗性个体频率变化值显示，随着抗性个体迁入比例的增加，敏感种群的抗性个体频率变化值增大，但影响整个敏感种群的相对效率逐渐降低（表 1）。显示了在桔小实蝇敏感种群中，如有较少量抗性个体的迁入，就可以对原始种群的抗性个体频率产生较大的抗性增强作用，且敌百虫抗性个体在 5% 的迁移率条件下，可有效地影响原始敏感种群的敌百虫抗性变化，而高效氯氰菊酯抗性个体在 10% 的迁移率条件下，才能有效地影响原始敏感种群对高效氯氰菊酯的抗性变化。

2.2　桔小实蝇敏感个体迁入抗性种群的抗性个体频率变化

桔小实蝇敏感个体迁入抗性种群后，子代桔小实蝇种群的抗性个体频率出现逐渐减弱的趋势。显著性差异分析显示，敏感个体 5% ~ 25% 的 5 种迁移率均使得抗性种群的抗性个体频率显著下降，且 5% 的迁移率与其他迁移率之间存在显著差异；而敏感个体只有在 10% ~ 25% 迁移率下使得高效氯氰菊酯抗性品系的抗性个体频率显著降低，4 种迁移率之间无显著差异。此外，抗性个体频率变化值显示，随着敏感个体迁入比例的增加，抗性种群的抗性个体频率变化值增大，只有敏感个体的迁移率分别在 5% 和 10% 时，对改变敌百虫抗性种群和高效氯氰菊酯抗性种群抗性个体频率相对效率最高（表 2）。表明在桔小实蝇种群中，少量桔小实蝇敏感个体的迁入就可以对原始抗性种群抗性个体频率产生降低作用。

2.3　不同抗性个体比例的桔小实蝇种群对抗性个体频率影响的趋势拟合

以桔小实蝇种群抗性个体比例为自变量(X)，子代种群的抗性个体频率为应变量(Y)，分别显示抗敌百虫和高效氯氰菊酯的抗性个体流动对抗性个体频率的影响趋势（图 1）。敌百虫抗性个体迁入桔小实蝇的敏感种群，少量的抗性个体迁入就可以使种群的抗性个体频率增加，但增加趋势缓慢，当抗性个体比例为 75% 后，种群的抗性个体频率增加较快，种群的群体抗性水平上升趋势明显。而高效氯氰菊酯抗性个体迁入桔小实蝇的敏感种群中，少量的抗性个体就可以使种群的抗性个体频率显著增加，抗性个体比例达到种群数 75% 后，种群的个体抗性增长趋势缓慢，无限地接近 1 的水平。通过 DPS 数据处理软件拟合，显示抗敌百虫个体流动和抗高效氯氰菊酯个体流动对桔小实蝇种群的抗性个体频率变化趋势分别符合密度模型（density model）

和房室模型（housing model），相关系数（R^2）分别为0.9696 和 0.9647。

3　讨论

害虫抗药性的发展和衰退，就是一个种群中的抗性基因浓缩和稀释的过程，以室内建立的桔小实蝇对敌百虫和高效氯氰菊酯抗性品系及相对敏感品系，在室内模拟条件下进行不同抗性个体比例的迁移，充分反映了害虫种群在不同稀释比例下的抗性变化。无论是抗性个体迁入敏感种群，或是敏感个

表 1　桔小实蝇抗性个体向敏感种群迁入引起的抗性个体频率变化

Table 1　The changes of the frequency of resistant individuals of *Bactrocera dorsalis* caused by immigration of resistant individuals into the susceptible population

抗性个体流动类型 Type of resistance gene flow	迁入比例（%） Immigration rate	抗性个体频率（%） Frequency of resistant individuals	抗性个体频率变化值（%） Changes of frequency of resistant individuals	相对效率 Relative efficiency
敌百虫抗性个体迁入敏感品系种群 Individuals resistant to trichlorphon immigrated to sensitive population	0	2.19 ± 1.31 bB		
	5	15.23 ± 6.62 aAB	13.04	2.61
	10	17.22 ± 3.51 aAB	15.04	1.50
	15	18.88 ± 4.26 aAB	16.70	1.11
	20	20.50 ± 5.91 aAB	18.31	0.92
	25	22.22 ± 1.92 aA	20.04	0.80
高效氯氰菊酯抗性个体迁入敏感品系种群 Individuals resistant to β-cypermethrin immigrated to sensitive population	0	17.11 ± 2.99 eD		
	5	27.94 ± 5.92 deCD	10.83	2.17
	10	36.87 ± 4.80 cdBC	19.76	1.98
	15	44.47 ± 2.75 bcABC	27.37	1.82
	20	52.55 ± 2.13 abAB	35.44	1.77
	25	58.86 ± 2.63 aA	41.75	1.67

表中的抗性个体频率为均值 ± 标准误，对抗性个体频率取对数后进行显著差异性比较，同一列数据后具有不同小写英文字母或大写字母分别代表表示平均数之间差异达到显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）水平；表 2 同。Data of frequency of resistant individuals are mean ± *SE*, the logarithm of frequency of resistant individuals was taken and the significant difference was compared. Data in a column followed by different small and capital letters are significantly different at $P<0.05$ and $P<0.01$ level, respectively. The same for Table 2.

表 2　桔小实蝇敏感个体向抗性种群迁入引起的抗性个体频率变化

Table 2　The changes of the frequency of resistant individuals of *Bactrocera dorsalis* caused by immigration of susceptible individuals into the resistant population

抗性个体流动类型 Type of resistance gene flow	迁入比例（%） Immigration rate	抗性个体频率（%） Frequency of resistant individuals	抗性个体频率变化值（%） Changes of frequency of resistant individuals	相对效率 Relative efficiency
敏感个体迁入敌百虫抗性种群 Individuals of sensitive strain immigrated into the resistant population to trichlorphon	0	92.81 ± 1.86 aA		
	5	63.31 ± 2.47 bB	29.50	5.90
	10	51.53 ± 3.02 cBC	41.28	4.13
	15	44.66 ± 1.19 cdCD	48.15	3.21
	20	39.25 ± 5.82 dCD	53.56	2.68
	25	36.61 ± 2.34 dD	56.20	2.25
敏感个体迁入高效氯氰菊酯抗性种群 Individuals of sensitive strain immigrated into the resistant population to β-cypermethrin	0	96.26 ± 1.89 aA		
	5	89.52 ± 5.66 aAB	6.74	1.35
	10	80.38 ± 1.93 bBC	15.88	1.59
	15	74.61 ± 1.04 bcC	21.65	1.44
	20	71.62 ± 2.85 cC	24.64	1.23
	25	70.39 ± 0.41 cC	25.88	1.04

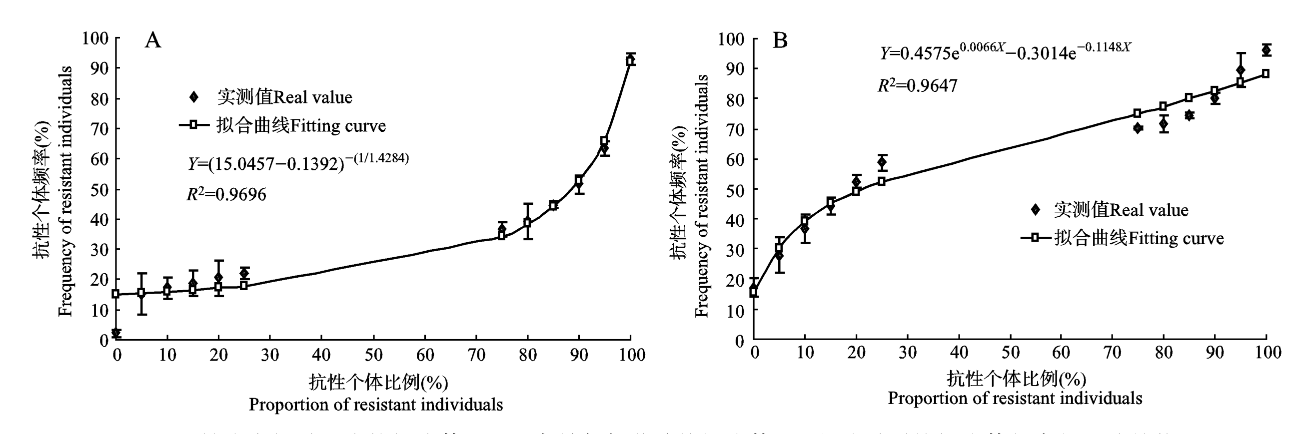


图 1　桔小实蝇敌百虫抗性个体(A)和高效氯氰菊酯抗性个体(B)的流动对抗性个体频率的影响趋势

Fig. 1　The tendency of the frequency of resistant individuals caused by trichlorphon-resistant (A) and β-cypermethrin-resistant (B) individual flow in *Bactrocera dorsalis* population

体迁入到抗性种群，子代种群中抗性个体频率均会发生变化。随着迁移率的提高，抗性个体频率变化越大，从不同迁移率所引起抗性个体频率变化的效率来看，较小的迁移率条件下改变种群频率的相对效率较高，这与棉铃虫抗性基因交流导致抗性个体频率变化的研究结果是相同的(孟香清等，2000)，说明在害虫种群中，抗、感个体的流动虽不能完全阻止原始种群的抗性进化，但可有效地延缓原害虫种群的抗性进化速度。

抗性基因的显性度是影响抗性扩散效率变化的重要因素。如果 R 基因呈完全隐性，迁入率较大的话，原始种群 R 基因频率将维持在低水平状态；如果 R 基因呈完全显性，更多的敏感个体迁入只会导致 R 基因更广泛地扩散，将使原始种群抗性个体频率增强(唐振华和吴士雄，2000)。本研究中桔小实蝇敏感个体迁入抗性种群后，抗性个体频率并没有出现上述特征变化，表明了通过室内筛选建立的桔小实蝇抗性品系的抗性基因属非完全隐性或完全显性遗传，与章玉苹等研究结果相一致(章玉苹，2007；章玉苹等，2008a)。在开展桔小实蝇抗性治理时，可通过保护或释放敏感个体来稀释处理抗性种群抗性水平，达到延缓抗性发展的作用。

两种不同抗性类型桔小实蝇个体对原始相对敏感种群抗性个体频率的变化具有不同程度的影响。在抗性个体 0% ~25% 的迁移比例变化中，虽然两种抗性个体的迁入均导致原始种群抗性个体频率的增加，但高效氯氰菊酯抗性个体迁入引起抗性个体频率的上升趋势较敌百虫抗性个体迁入引起的抗性个体频率上升趋势明显；在抗性个体 75% ~100% 的迁移比例变化中，后者引起抗性变化趋势又较前者明显。这种抗性个体频率增长的变化趋势不同预示着桔小实蝇对两种杀虫剂抗性遗传效率存在差别，即敌百虫的抗性基因在世代繁殖中容易得到遗传，而对高效氯氰菊酯抗性基因在桔小实蝇的世代传递中的效率较低。由此表明了在化学防治桔小实蝇的过程中，尽可能少采用有机磷类药剂，以预防其产生抗药性。

田间桔小实蝇的抗、感个体的相互迁移是在较为复杂生态环境条件下发生的，除躲避杀虫剂的危害之外，环境条件和寄主生育期能否满足其生活需要，同样也影响其迁移方向。通过对桔小实蝇抗性品系和敏感品系之间的生物学和生态学指标进行研究发现，桔小实蝇的抗性品系生命力和繁殖力明显较小，种群增长缓慢(潘志萍等，2008；章玉苹等，2009)。且由于桔小实蝇雌虫可多次交配，产卵量大等特点，促使桔小实蝇的敏感基因更易于在其种群中扩散，所以田间种群的抗性水平发展应相当缓慢(Jin *et al.*, 2011)。由此推测，只要进行合理的用药，并采用必要预防性的抗性治理策略，未来桔小实蝇对敌百虫和高效氯氰菊酯的抗性水平将处于稳定发展阶段，抗性水平难以骤升，但达到低抗水平的地理种群也不会很快下降。本文以桔小实蝇抗性个体的流动对原始种群抗性个体频率变化的研究结果，有利于了解桔小实蝇在复杂的迁移过程中田间种群的抗性水平变化趋势，评估当前桔小实蝇种群的抗性水平，同时也充实了害虫群体抗药性研究内容。

参 考 文 献 (References)

Cheng GL, Jiang YC, Liu RX, Du XL, Hu MJ, 1992. Factors causing the outbreak of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* in northern

China in 1992. *Plant Protection*, 18(6): 30 - 31. [程桂林，姜延超，刘润玺，杜学林，胡明江，1992. 1992 年北方棉铃虫特大发生原因分析. 植物保护，18(6): 30 - 31]

Crow JF, 1957. Genetics of insect resistance to chemicals. *Annual Review of Entomology*, 2: 227 - 246.

Gao XW, Peng LN, Liang DY, 2006. Factors causing the outbreak of brown planthopper (BHP), *Nilaparvata lugens* Stål in China in 2005. *Plant Protection*, 32(2): 23 - 25. [高希武，彭丽年，梁帝允，2006. 对 2005 年水稻褐飞虱大发生的思考. 植物保护，32(2): 23 - 25]

Hsu JC, Feng HT, 2000. Insecticide susceptibility of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* (Hendel)) (Diptera: Tephritidae) in Taiwan. *Chinese Journal of Entomology*, 20: 109 - 118.

Jin T, Zeng L, Lin YY, Lu YY, Liang GW, 2011. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in mainland China. *Pest Management Science*, 67(3): 370 - 376.

Liu JH, Ye H, 2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Yuanjiang dry-hot valley, Yunnan with an analysis of the related factors. *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 706 - 711. [刘建宏，叶辉，2005. 云南元江干热河谷桔小实蝇种群动态及其影响因子分析. 昆虫学报，48(5): 706 - 711]

Meng XQ, Rui CH, Zhao JZ, Fan XL, Wei C, 2000. Changes of pyrethroids resistance frequencies in cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) with gene flow. *Acta Phytophylacica Sinica*, 27(3): 273 - 276. [孟香清，芮昌辉，赵建周，范贤林，魏岑，2000. 棉铃虫抗药性基因流动对抗性频率的影响. 植物保护学报，27(3): 273 - 276]

Pan ZP, Lu YY, Zeng L, Zeng XN, 2008. Development of resistance to trichlorophon, alphamethrin, and abamectin in laboratory populations of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(6): 609 - 617. [潘志萍，陆永跃，曾玲，曾鑫年，2008. 桔小实蝇实验种群对敌百虫、高效氯氰菊酯和阿维菌素的抗性增长规律. 昆虫学报，51(6): 609 - 617]

Pan ZP, Zeng L, Lu YY, 2005. Monitoring of resistance of oriental fruit fly adults to insecticides in South China. *Journal of South China Agricultural University*, 26(4): 23 - 26. [潘志萍，曾玲，陆永跃，2005. 华南地区桔小实蝇对几种农药的抗药性研究. 华南农业大学学报，26(4): 23 - 26]

Pan ZP, Zeng L, Wen SY, 2006. Microsatellite DNA polymorphism in different pesticide-resistant strains of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tetriphitidae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 874 - 877. [潘志萍，曾玲，温硕洋，2006. 桔小实蝇抗性品系的微卫星 DNA 分析. 昆虫学报，49(5): 874 - 877]

Tang ZH, Wu SX, 2000. Heredity and Evolution of Insect Resistance to Pesticides. Shanghai Science and Technology Literature Press, Shanghai. [唐振华，吴士雄，2000. 昆虫抗药性的遗传与进化. 上海：上海科学技术文献出版社]

Taylor CE, Quaglia F, Georghiou GP, 1983. Evolution of resistance to insecticides: a cage study on the influence of migration and insecticide decay rates. *Journal of Economic Entomology*, 76(4): 704 - 707.

Xiao C, Li ZY, Chen HR, 2004. Research advances in behavior and integrated management of *Bactrocera dorsalis* Hendel. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 16(1): 34 - 40. [肖春，李正跃，陈海如，2004. 柑桔小实蝇的行为学与综合治理技术研究进展. 江西农业学报，16(1): 34 - 40]

Ye H, Liu JH, 2005. Population dynamics of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in the Kunming area, southwestern China. *Insect Science*, 12(5): 387 - 392.

Yuan SY, Xiao C, Li ZY, Zhu JY, 2003. A study on laboratory rearing techniques for *Bactrocera dorsalis* Hendel. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*. 25(4): 577 - 580. [袁盛勇，肖春，李正跃，朱家颖，2003. 桔小实蝇实验室饲养技术研究. 江西农业大学学报，25(4): 577 - 580]

Zhang YP, 2007. Study on Insecticide Resistance of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). PhD Dissertation, South China Agricultural University, Guangzhou. [章玉苹，2007. 桔小实蝇对三种杀虫剂的抗药性研究. 广州：华南农业大学博士学位论文]

Zhang YP, Lu YY, Zeng L, Liang GW, 2009. Population life parameters and relative fitness of alpharmethrin-resistant *Bactrocera dorsalis* strain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(2): 381 - 386. [章玉苹，陆永跃，曾玲，梁广文，2009. 桔小实蝇抗高效氯氰菊酯品系种群生命参数与相对适合度. 应用生态学报，20(2): 381 - 386]

Zhang YP, Zeng L, Lu YY, Liang GW, 2007. Monitoring of insecticide resistance of *Bactrocera dorsalis* adults in South China. *Journal of South China Agricultural University*, 28(3): 20 - 23. [章玉苹，曾玲，陆永跃，梁广文，2007. 华南地区桔小实蝇抗药性动态监测. 华南农业大学学报，28(3): 20 - 23]

Zhang YP, Zeng L, Lu YY, Liang GW, 2008a. Genetic analysis of *Bactrocera dorsalis* resistance to trichlorphon. *Journal of South China Agricultural University*, 29(1): 39 - 43. [章玉苹，曾玲，陆永跃，梁广文，2008a. 桔小实蝇对敌百虫抗药性遗传分析. 华南农业大学学报，29(1): 39 - 43]

Zhang YP, Zeng L, Lu YY, Liang GW, 2008b. Monitoring of insecticides resistance of oriental fruit fly field populations in South China. *Journal of Huazhong Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 27(4): 456 - 459. [章玉苹，曾玲，陆永跃，梁广文，2008b. 华南地区桔小实蝇田间种群抗药性的监测. 华中农业大学学报(自然科学版)，27(4): 456 - 459]

Zhang YP, Zeng L, Lu YY, Liang GW, 2008c. Resistance stability and re-growth in adults of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) to trichlorphon. *Acta Entomologica Sinica*, 51(10): 1044 - 1049. [章玉苹，曾玲，陆永跃，梁广文，2008c. 桔小实蝇对敌百虫抗性稳定性及再增长趋势. 昆虫学报，51(10): 1044 - 1049]

（责任编辑：赵利辉）